文章编号：xxxx-xxxx(XXXX) 0X-01-06

储存环中有效鉴别衰变事件的方法及在^{94m}Ru^{44+}寿命测量中的应用

彭婷微[1]，曾 奇[1,*]，王 猛[2]，张玉虎[2]，涂小林[2]，付超义[2]，李宏福[2]，孙铭泽[2]，邢元明[2]，颜鑫亮[2]，赵剑锟[1]，周 旭[2]

(1. 东华理工大学核科学与工程学院，南昌 330013；
2. 中国科学院近代物理研究所，兰州 730000；

摘要： 兰州重离子加速器冷却储存环上的等时性质量谱仪是开展高电荷态、短寿命同核异能态衰变研究的理想装置。在短寿命高电荷态离子^{94m}Ru^{44+} 的寿命测量实验中，我们直接观测到了^{94}Ru的8^+态isomer衰变到基态的过程。在观测时间窗口(20 μs, 180 μs)范围内，鉴别出了49 个衰变事件。为了能够鉴别出更多的衰变事件，本文研究了一种基于频谱幅度来指认衰变事件的方法。基于模拟结果，该方法可以有效指认(15 μs, 185 μs) 内的衰变事件。将新的鉴别方法应用到实验数据处理中，在(15 μs, 185 μs)内，鉴别出了54个衰变事件。基于这54个衰变事件，计算得到^{94m}Ru^{44+}在运动坐标系下的寿命为194(121) μs。新的寿命结果于之前的结果218(148) μs 在误差范围内，具有更高的精确度。

关键词： 等时性质量谱仪；全剥离离子；^{94m}Ru ；寿命测量；观测时间窗口
中图分类号： O571.53 **文献标志码：** A **DOI:**

1 引言

基于兰州重离子加速器冷却储存环[1]的等时性质量谱仪(Isochronous mass spectrometry,IMS)[2]开展短寿命、高电荷态离子的衰变研究是近些年来发展的新技术。在基于IMS高电荷态离子^{94m}Ru^{44+} 寿命测量实验中，^{94m}Ru^{44+} 通过弹核碎裂反应产生。初级束流^{112}Sn^{35+} 在CSRm 中强累积到约为150 μA、能量加速到376.42 MeV/u 后，快引出在放射性束流线(RIBLL2) 入口处轰击厚约10.0 mm 的^{9}Be 靶发生弹核碎裂反应，产生次级碎片。次级碎片经过放射性束流线（RIBLL2）的筛选后，注入并储存在实验环CSRe中。安装在CSRe 上的飞行时间探测器[3]，持续记录并存储离子每次通过飞行时间探测器的时间信号。每次注入记录时间为200 μs，对应离子循环∼ 300 圈。如果离子在循环过程中发生衰变，那么其质量就会改变，相应的循环周期就会产生变化，变化的数值大概是11.9 ps。而大部分的离子在储存环中能够循环1000 多圈[4]，循环1000 多圈对应的飞行时间的变化大概是20 ps，所以^{94m}Ru^{44+} 衰变后的子核^{94}Ru^{44+}依然可以储存在CSRe 中不丢失。同时，因为^{94m}Ru^{44+}和^{94}Ru^{44+} 都是等时性中心离子，所以^{94}Ru^{44+} 的飞行时间在衰变后受能量损失的影响较小。因此，即使母核^{94m}Ru^{44+} 发生了衰变，其子核^{94}Ru^{44+} 也依旧可以循环足够久的时间以供我们的测量。

通过平均大量的数据点[4]，可以减小由离子发射度引起的波动对循环周期的影响。通过对∼ 30 转(∼ 20 μs)的平均计算，估计旋转时间的不确定性为∼ 2 ps，对应的质量分辨率为∼ 8 $\times 10^4$[5]。即观测时间窗口为数据采集开始后(20 μs,180 μs)内，可以有效鉴别衰变事件。在之前的数据分析方法中，我们通过观测循环周期的变化来鉴别衰变事件。如果^{94m}Ru^{44+} 衰变发生在观测时间窗口外，由于衰变事件无法有效地鉴别而忽略对应衰变事件。此外，利用一条直线拟合离子的飞行时间和循环圈数的关系，就可以得到直线拟合残差。当^{94m}Ru^{44+} 发生衰变时，衰变前后的循环周期将发生变化，直线拟合残差数据点为一条折线似的扭曲，如果未发生衰变，则无扭曲。以上方法观测衰变事件的有效时间窗口为(20 μs,180 μs)，鉴别出的衰变事件为49 个。为了进一步扩展观测时间窗口，鉴别出更多的衰变事件，本文通过模拟数据研究了直线拟合残差的频谱，通过频谱的幅度与衰变圈数的关系，得到一种新的鉴别方

收稿日期： 2023-xx-xx； **修改日期：** 2023-xx-xx
基金项目： 国家自然科学基金资助项目(11805032)；
作者简介： 彭婷微(1998-)，女，江西九江人，硕士研究生，从事实验核物理研究；E-mail: 1457402426@qq.com。
通信作者: 曾奇，E-mail: qizeng@ecut.edu.cn

法。

2 鉴别方法的研究

2.1 傅里叶变换

本节主要介绍的是非周期性不对称三角波的傅里叶变换公式的推导过程。时域转化成频域的转化关系式为:

$$F(\omega)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t}dt \tag{1}$$

其中$f(t)$为时域表达式，$F(\omega)$为频域表达式。

假设非周期性三角波的分段函数的表达式为$f(t)$，

$$f(t)=\begin{cases} a(t-t_1), t\in[t_1,z) \\ b(t_2-t), t\in(z,t_2] \\ 0, t\in(-\infty,t_1)\cup(t_2,+\infty) \end{cases} \tag{2}$$

其中a,b,t_1,t_2均为常数。

将式(2)进行傅里叶变换,可得到:

$$\begin{aligned} F(\omega)=&e^{-j\omega z}(\frac{at_1-az}{j\omega}+\frac{a}{\omega^2})-\frac{a}{\omega^2}e^{-j\omega t_1} \\ &+e^{-j\omega z}(\frac{bt_2-bz}{j\omega}+\frac{b}{\omega^2})-\frac{b}{\omega^2}e^{-j\omega t_2} \end{aligned} \tag{3}$$

两条直线的交点为$z=(a\cdot t_1+b\cdot t_2)/(a+b)$ 代入上式后，做个简单的移项后可以得到:

$$F(\omega)=\frac{1}{\omega^2}[(a+b)\cdot e^{-j\omega z}-a\cdot e^{-j\omega t_1}-b\cdot e^{-j\omega t_2}] \tag{4}$$

通过欧拉公式e^{-jx}=cos(x)-sin(x)、二倍角公式cos(x)=1-2sin^2(x/2) 以及抽样函数的表达式$Sa(x)$=sin(x)/x。将式(4)写成:

$$\begin{aligned} F(\omega)=&-\frac{z^2(a+b)}{2}\cdot Sa^2(\frac{z\omega}{2})-\frac{i(a+b)z}{\omega}\cdot Sa(z\omega) \\ &+\frac{at_1^2}{2}\cdot Sa^2(\frac{\omega t_1}{2})+\frac{i\cdot at_1}{\omega}\cdot Sa(t_1\omega) \\ &+\frac{b\cdot t_2^2}{2}\cdot Sa^2(\frac{\omega t_2}{2})+\frac{i\cdot bt_2}{\omega}\cdot Sa(t_2\omega) \end{aligned} \tag{5}$$

由式(5)可得$F(\omega)$ 的模与频率ω的关系，通过这两者的关系就可以得到如图1(b_1)、图1(b_2)的模拟结果。

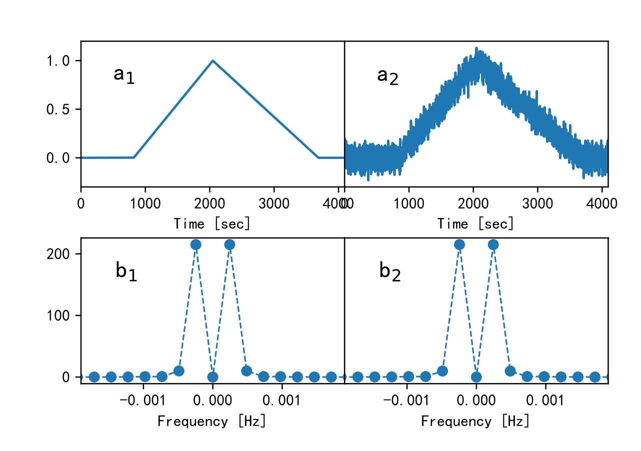


图 1 左图为未加噪声的时域图(a_1)和频域图(b_1)，右图为添加噪声的时域图(a_2)和频域图(b_2)。

图1展示了在其他条件相同的情况下，未考虑噪声和考虑噪声两种情况的时域图和频域图。从图1(a_1)、图1(b_1)可以看出，当时域图出现折线时，对应频谱图会出现一个最大值。图1(a_2) 显示，当考虑噪声，即考虑误差条件，时域图出现具有毛刺的折线时，对应频域图1(b_2)也出现一个最大值，并且此频谱最大值与未考虑误差的图1(b_1) 频谱最大值基本一致，无明显变化。因此，可以通过频谱的最大值来鉴别^{94m}Ru^{44+}的衰变事件。接下来我们基于该方法，通过模拟数据来检验该方法的指认效果。

2.2 模拟数据的产生

首先要估计一下^{94}Ru^{44+} 和^{94m}Ru^{44+} 在本次实验中的初始循环时间$RevT_{g,1}$和$RevT_{m,1}$。假设^{94}Ru^{44+}的质量为M_g，^{94m}Ru^{44+}的质量为M_m，则有:

$$M_g=A\cdot M_u-Q\cdot M_e+ME_g+Be(Z) \tag{6}$$

$$M_m=A\cdot M_u-Q\cdot M_e+ME_g+Be(Z)+E_X \tag{7}$$

其中A=94 为质量数；M_u为931.494 MeV，是核子质量；M_e为0.511 MeV，是电子质量；ME_g为-82.584 MeV，是^{94}Ru^{44+} 的质量过剩；Be 是核外所有电子的结合能；E_X为2.644 MeV，是同核异能态的激发能。

通过^{94m}Ru^{44+}和^{94}Ru^{44+}的质量M_m、M_g以及^{94}Ru^{44+} 的初始磁刚度$B\rho_g$=5.5294 Tm，对应的轨道长度L_0=128.8 米。假设两个离子初始的洛伦兹因子为γ_0 、相对论速度为β_0 以及离子刚进入实验环的单核子的能量E_α 是相同的，那么它们的表达式为:

$$\gamma_0=\sqrt{\left(\frac{B\rho_g}{M_g/(Q\cdot c)}\right)^2+1} \tag{8}$$

$$\beta_0=\sqrt{1-\frac{1}{\gamma_0^2}} \tag{9}$$

$$E_\alpha=\frac{M_g\cdot(\gamma_g-1)}{A} \tag{10}$$

其中Q为44，是该全剥离离子的电荷态；c为2.9979×10^8 米/秒，是光在真空中传播的速度。由以上式子可以得到$^{94m}Ru^{44+}$ 的初始磁刚度$B\rho_m$：

$$B\rho_m=\frac{M_m\cdot\beta_0\cdot\gamma_0}{Q\cdot c} \tag{11}$$

然后计算出在$B\rho_m$ 下的轨道长度L_m 为：

$$L_m=L_0\cdot(1+\frac{B\rho_m/B\rho_g-1}{\gamma_t^2}) \tag{12}$$

其中γ_t=1.302，是实验环的转变能[2]。因此$^{94}Ru^{44+}$ 和$^{94m}Ru^{44+}$初始循环时间$RevT_{g,1}$和$RevT_{m,1}$为：

$$RevT_{g,1}=\frac{L_0}{\beta_0\cdot c} \tag{13}$$

$$RevT_{m,1}=\frac{L_m}{\beta_0\cdot c} \tag{14}$$

随后，继续推算出$^{94}Ru^{44+}$ 和$^{94m}Ru^{44+}$ 在第i 圈的循环时间$RevT_{g,i}$ 和$RevT_{m,i}$ 。当CSRe中的存储离子经过碳膜时，存储离子会损失能量，估算出离子循环300 圈的能量损失E_{al} 为36.695 MeV，平均每圈的能损E_l 为36.695/300 等于0.1223 MeV。然后计算出每圈洛伦兹因子的变化量$\Delta\gamma$ 为E_l/M_m 等于1.3986×10^{-6}。以此类推，离子循环i 圈后，其洛伦茨因子γ_i 为：

$$\gamma_i=\gamma_0-(i-1)\cdot\triangle\gamma \tag{15}$$

其相对论速度β_i为：

$$\beta_i=\sqrt{1-\frac{1}{\gamma_i^2}} \tag{16}$$

在第i 圈时，$^{94}Ru^{44+}$和$^{94m}Ru^{44+}$ 的磁刚度分别为$B\rho_{g,i}$和$B\rho_{m,i}$：

$$B\rho_{g,i}=\frac{M_g\cdot\beta_i\cdot\gamma_i}{Q\cdot c} \tag{17}$$

$$B\rho_{m,i}=\frac{M_m\cdot\beta_i\cdot\gamma_i}{Q\cdot c} \tag{18}$$

在第i 圈时，$^{94}Ru^{44+}$和$^{94m}Ru^{44+}$ 的轨道长度分别为$L_{g,i}$和$L_{m,i}$：

$$L_{g,i}=L_0\cdot(1+\frac{B\rho_{g,i}/B\rho_g-1}{\gamma_t^2}) \tag{19}$$

$$L_{m,i}=L_0\cdot(1+\frac{B\rho_{m,i}/B\rho_g-1}{\gamma_t^2}) \tag{20}$$

从而可以得到$^{94}Ru^{44+}$和$^{94m}Ru^{44+}$在第i 圈的循环时间$RevT_{g,i}$ 和$RevT_{m,i}$ 分别为：

$$RevT_{g,i}=\frac{L_{g,i}}{\beta_i\cdot c} \tag{21}$$

$$RevT_{m,i}=\frac{L_{m,i}}{\beta_i\cdot c} \tag{22}$$

最终得到$^{94}Ru^{44+}$和$^{94m}Ru^{44+}$ 在n 圈内的总飞行时间分别为$t_{g,n}$ 和$t_{m,n}$：

$$t_{g,n}=\sum_{i=1}^{n}RevT_{g,i} \tag{23}$$

$$t_{m,n}=\sum_{i=1}^{n}RevT_{m,i} \tag{24}$$

如果$^{94m}Ru^{44+}$在第s 圈衰变成$^{94}Ru^{44+}$，那么可以假设该离子序列在n 圈内总飞行时间是$t_{d,n}$，则$t_{d,n}$ 为：

$$t_{d,n}=\sum_{i=1}^{s}RevT_{m,i}+\sum_{i=s+1}^{n}RevT_{g,i} \tag{25}$$

在实验中，飞行时间探测器的时间分辨率为50 ps（标准偏差），为了使模拟数据和实验数据更加接近，在第n 圈内的总时间$t_{d,n}$ 加上了一个高斯分布式随机数N(0, 50^2)。所以假设$t'_{d,n}$ 为该离子序列在n 圈内的总飞行时间，X为产生的随机数（X 模拟飞行时间探测器的时间分辨），总飞行时间$t'_{d,n}$就可以表示为：

$$t'_{d,n}=t_{d,n}+X \tag{26}$$

图2(a)是模拟得到离子的飞行时间随循环圈数的变化图，蓝色点为实验数据点，红线为直线拟合曲线。图2(b)是该离子直线拟合残差图。

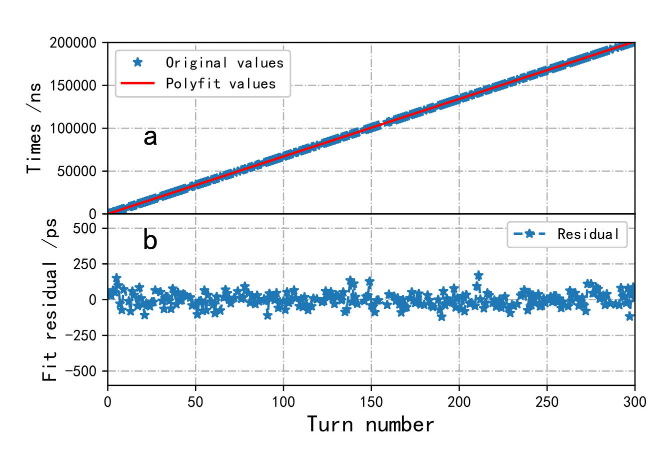


图 2 上图为一个离子序列的飞行时间-循环圈数关系图，下图为该离子一阶拟合残差关系图。

2.3　衰变事件指认方法介绍

在观测时间窗口中离子发生衰变时，直线拟合残差将出现一个明显的扭曲。这个扭曲是由于衰变前后，离子的循环周期发生了变化，这也是前面工作中直观指认衰变时间的方法。本文中新的指认方法也是在直线拟合残差的基础上，对数据进行进一步分析。本节的主要方法是通过对直线拟合残差做傅里叶变换，将时域信号变成频域信号，再通过频谱的幅度对衰变事件进行鉴别，随后通过衰变前后的周期差进行进一步鉴别。

我们模拟了衰变和未衰变事件的飞行时间随圈数的变化，用直线拟合这些数据，得到衰变事件和未衰变事件的拟合残差，如图3(a_1)和图3(a_2) 所示。对衰变事件和非衰变事件的拟合残差做傅里叶变换得到频谱，如图3(b_1)和图3(b_2)所示。

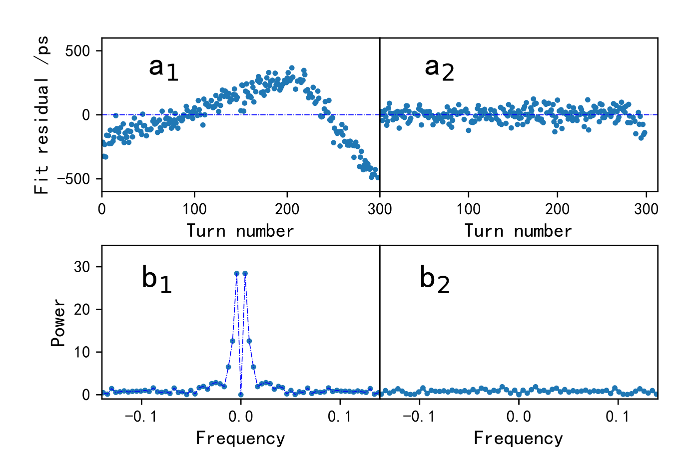


图 3　左边两图分别为衰变事件的直线拟合残差图和经过傅里叶变换的频谱图，右边两图分别为未衰变事件的直线拟合残差图和经过傅里叶变换的频谱图。

假设所有的$^{94m}Ru^{44+}$离子在飞行时间探测器中并没有发生衰变，并且在实验中，每次注入记录的时间是200 μs。在这200 μs内，离子可以在实验环（CSRe）中循环大概300圈。当离子的直线拟合残差的形状类似一个非周期性的不对称三角波，如图3(a_1)所示，并且对应频域图3(b_1) 出现了一个非常明显的峰，就认为$^{94m}Ru^{44+}$ 离子在该圈数衰变成了$^{94}Ru^{44+}$ 离子。图3(a_2)所示，图中没有出现扭结，并且相应频域图3(b_2) 的数值都是在横轴0点处震荡，所以就认为该$^{94m}Ru^{44+}$ 没有发生衰变。为了尽可能筛选出更多衰变事件，我们模拟了20—280圈内每一圈的衰变事例。对这些衰变事件逐一用直线拟合残差，并进行傅里叶变换得到的频谱，最后提取出频谱幅度的最大值。

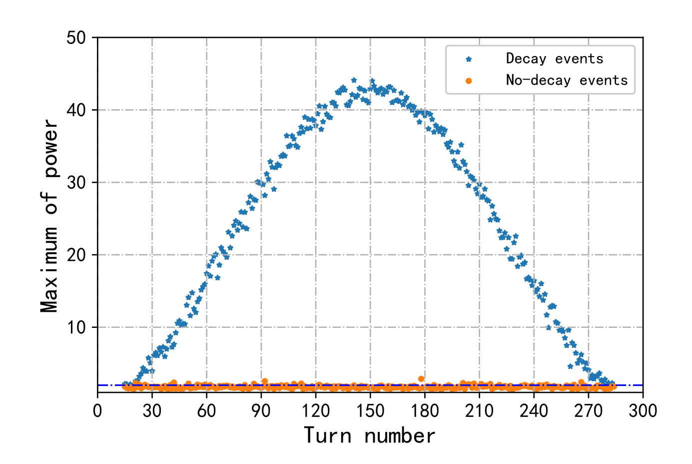


图 4　衰变事件和未衰变事件的频率最大幅度随衰变圈数的变化图。

衰变事件和未衰变事件的频率最大幅度值随圈数的变化如图4所示，衰变事件的最大幅度随着衰变圈数的变化，呈现先增大后减小的趋势，且频谱最大幅度都大于2.0。未衰变事件的频谱最大幅度则大部分小于2.0。因此该值可以作为对衰变事件初步指认的数值。

为了进一步准备指认衰变事件，计算了衰变点前后的循环周期差值，衰变事件和非衰变事件的循环周期差值如图5 所示。$^{94m}Ru^{44+}$衰变事件的循环周期差值都在6 ps 以上。因此在后续的实验数据分析中，将周期差值的范围确定为6 ps，作为寻找衰变事例的标准。

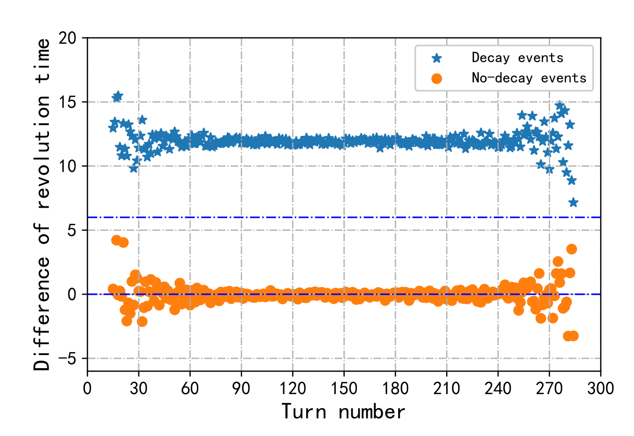


图 5　衰变事件和未衰变事件的衰变点前后循环周期差随衰变圈数的变化图。

3　在$^{94m}Ru^{44+}$寿命测量实验数据处理中的应用

由模拟数据得出结论，当拟合残差经过傅里叶变换的频谱最大幅度大于2、残差衰变圈数拟合曲线周期差大于6 ps时，就可以判断$^{94m}Ru^{44+}$ 发生了衰变，具体过程如下。

^{94}Ru^{44+}和^{94m}Ru^{44+}的循环周期在670.9 ns ～ 671.0 ns之间。对循环周期在这个周期范围内的所有事例提取直线拟合残差的频谱幅度最大值,初步筛选出了235 个衰变候选事例。再提取全部衰变候选事例的衰变时刻，衰变时刻提取方法参考[7]。计算衰变前后的循环周期差值，差值大于6 ps 的候选事件为54 个。最后将实验数据和模拟数据结果对比，如图6和图7 所示。从图6可以看到，这54 个衰变事件的残差经过傅里叶变换得到的频谱最大幅度，随着衰变圈数的增大有一个先增大后减小的趋势。并且实验数据点按照模拟数据点图形的变化而变化，都围绕着模拟数据点；从图7 可以看到，衰变事件的衰变点前后的周期差值同样也围绕着模拟结果数据点，并且在11.9 ps 来回浮动。

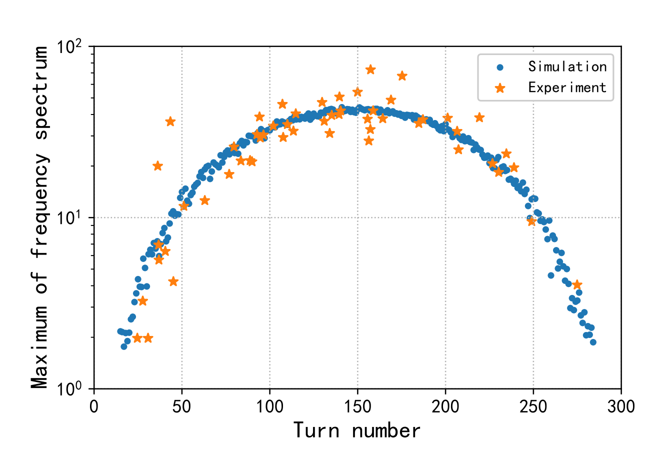


图 6　54 个衰变事件的频谱最大幅度与模拟结果对比图。

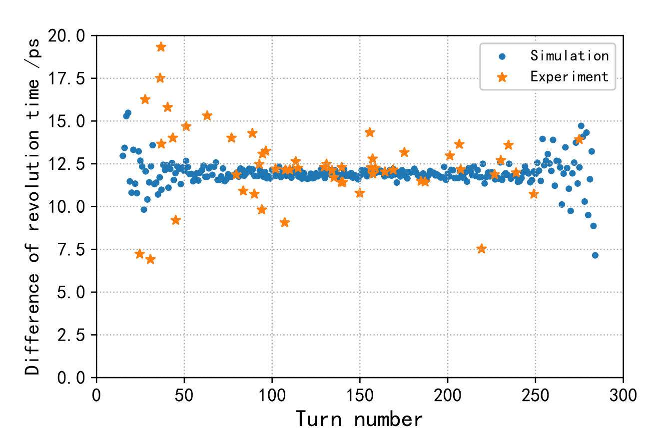


图 7　54 个衰变事件的衰变时间前后循环周期差值与模拟结果对比图。

为了计算离子的寿命，我们运用了一种基于限定时间范围内寿命的计算方法，详细介绍可参考文献[6]。根据滤波场景的测量条件，我们对寿命进行估计，估计值及其误差的公式分别为

$$\hat{\tau} = \frac{1}{n}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} t_{\mathrm{i}} + \frac{T}{e^{\frac{T}{\hat{\tau}}} - 1} \tag{27}$$

$$\sigma(\hat{\tau}) = \frac{\hat{\tau}^2}{\sqrt{n}\sigma(t_{\mathrm{i}})} \tag{28}$$

其中$\hat{\tau}$和$\sigma(\hat{\tau})$为寿命的极大似然估计量及其误差，n为离子的衰变事件个数，t_{i} 为离子的衰变时间，$T = T_2 - T_1$为观测时间窗口大小。将这54 个衰变事件的平均衰变时间71.7 μs，观测时间窗口大小T =170 μs，代入(27)和(28)得到^{94m}Ru^{44+} 在相对论坐标系下的寿命为194(121) μs。

因为使用这种方法找到了54 个衰变事件，也就是n的数目增大了。所以由式(28) 可知，极大似然估计量的误差的与衰变事件个数成反比，即当衰变事件的个数变多时，其误差将变小，精确度将提高。

中性原子同核异能态^{94m}Ru在静止坐标系下半衰期的理论值为71(4) μs [8]。^{94m}Ru通过γ 级联衰变或内转换过程衰变成基态。当原子外层电子被完全剥离时，通过内转换的衰变通道被关闭，全剥离同核异能态离子只能通过γ级联衰变通道衰变[9]。BRICC 代码[10]计算得到的^{94m}Ru的内转换系数为0.335，理论预测在实验室坐标系下^{94m}Ru^{44+} 寿命（γ = 1.302）延长为178(10) μs。

4　总结

本文介绍了一种新的准确鉴别离子衰变的指认方法，通过测量全剥离离子^{94m}Ru^{44+}和其衰变后的离子^{94}Ru^{44+} 在CSRe中的回旋周期和飞行时间后，得到直线拟合残差的频谱，基于频谱幅度的最大值，初步指认衰变事件。然后提取衰变离子相应的衰变时间，得到衰变点前后的周期差，从而有效且快速的鉴别出^{94m}Ru^{44+} 离子的衰变事件，并且拓展了离子发生衰变的时间窗口。通过之前的鉴别方法观测离子发生衰变的时间窗口是(20 μs,180 μs)，通过这个方法将时间窗口拓展为(15 μs,185 μs)。按照原来的方法只发现了49 个衰变事件，通过对实验数据进行分析，现在找到了54 个衰变事件，比原来多找到了5 个衰变事件。通过对这54个衰变事件的衰变时间重新计算得到^{94m}Ru^{44+} 在实验室坐标系下的寿命为194(121) μs，与前期工作的结果218(148) μs[6] 在误差范围内一致，且具有更高的精确度。

参考文献：

[1] XIA J W, ZHAN W L, WEI B W, et al. Nucl. Instrum. Meth. A, 2002, 488: 11. doi:10.1016/S0168-9002(02)00475-8
[2] HAUSMANN M, STADLMANN J, ATTALLSH F, et al. Nucl. Instrum. Meth. A, 2000, 446: 569. doi:10.1016/S0168-9002(99)01192-4
[3] MEI B, TU X L, WANG M, et al. Nucl. Instrum. Meth. A, 2010, 624: 109. doi:10.1016/j.nima.2010.09.001
[4] CHEN R J, YUAN Y J, WANG M, et al. Phys. Scr. T, 2015, 166: 014044. doi:10.1088/0031-8949/2015/T166/014044
[5] ZENG Q, WANG M, ZHANG Y H, et al. Nuclear Physics Review, 2017, 34(3): 414.(in Chinese)
(曾奇, 王猛, 张玉虎, 等. 原子核物理评论，2017, 34(3): 414-419. doi:10.11804/NuclPhysRev.37.2019CNPC26)
[6] CHEN X C, ZENG Q, LITVINOV Y A, et al. Phys. Rev. C,2017, 96: 034302. doi:10.1103/PhysRevC.96.034302
[7] ZENG Q, WANG M, ZHOU X H, et al. Phys. Rev. C, 2017, 96: 031303(R). doi:10.1103/PhysRevC.96.031303
[8] AUDI G, KONDEV F G, WANG M, et al. Chin. Phys. C 2017, 41: 030001. doi:10.1088/1674-1137/41/3/030001
[9] ABRIOLA D, SONZOGNI A A. Nucl. Data Sheets 2006, 107: 2423. doi:10.1016/j.nds.2006.08.001
[10] KIBDI T, BURROWS T W, TRZHASKOVSKAYA M B, et al. Nucl. Instrum. Meth. A 2008, 589: 202. doi:10.1016/j.nima.2008.02.051

An effective method for identifying decay events in storage rings and its application in ^{94m}Ru^{44+} lifetime measurement

PENG Tingwei[1]，ZENG Qi[1]，WANG Meng[2]，ZHANG Yuhu[2]，TU Xiaolin[2]，FU Chaoyi[2]，LI Hongfu[2]，SUN Mingze[2]，XING Yuanming[2]，YAN Xinliang[2]，ZHAO Jiankun[1]，ZHOU Xu[2]

(*1. School of Nuclear Science and Engineering, East China University of Technology, Nanchang, China;*
2. Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Lanzhou Heavy Ion Accelerator Cooling Storage Ring(HIRFL-CSR) is an ideal device for studying the decay of highly charged and short-lived isomers. In the lifetime measurement experiment of the short-lived highly charged ion ^{94m}Ru^{44+}, we directly observed the decay of ^{94}Ru from 8^+ isomer to the ground state, and identified 49 decay events in the observation time window of (20 μs, 180 μs). In order to identify more decay events, a method based on spectral amplitude was studied in this paper. Based on the simulation results, this method can effectively identify decay events within (15 μs, 185 μs). By applying the new identification method to the experimental data processing, 54 decay events were identified within (15 μs, 185 μs). Based on these 54 decay events, the lifetime of ^{94m}Ru^{44+} in the rest frame was calculated to be 194(121) μs. The new lifetime result is within the error range of the previous result 218(148) μs, with higher precision.

Key words: HIRFL-CSR ; Fully stripped ions ; ^{94m}Ru ; Lifetime measurements of short-lived nuclides ; Observation time window

Received date: XX Aug. 2023;　**Revised date:** XX Oct. 2023
Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No.11805032);